

**APLICACION DE LOS MODELOS DE ELECCION DISCRETA AL
ANALISIS DE LA ADOPCION DE INNOVACIONES TECNOLOGICAS.
EL CASO DEL SECTOR AZULEJERO.***

E. J. Miravete**

WP-EC 90-04

* Deseo agradecer la ayuda y los útiles comentarios de los miembros del Departamento de Análisis Económico que han ayudado a mejorar sucesivas versiones de este trabajo. En especial debo mencionar a Francisco Caballero, Angel Ortí y Francisco Pérez. Igualmente agradezco los comentarios y el interés de Vicente Salas y del resto de los participantes en las VI Jornadas de Economía Industrial celebradas en Madrid, en Septiembre de 1990, donde se presentó una versión algo más reducida de este papel.

** E. J. Miravete: Universidad de Valencia.

Editor: Instituto Valenciano de
Investigaciones Económicas, S.A.
Primera Edición Diciembre 1990
ISBN: 84-7890-316-X
Depósito Legal: V-3239-1990
Impreso por KEY, S.A., Valencia
Cardenal Benlloch, 69, 46021-Valencia.

**APLICACION DE LOS MODELOS DE ELECCION DISCRETA AL
ANALISIS DE LA ADOPCION DE INNOVACIONES ECONOMICAS.
EL CASO DEL SECTOR AZULEJERO.**

J. Miravete

RESUMEN

En el presente trabajo se intenta justificar la utilización de los modelos de elección discreta para abordar el estudio de la adopción de nueva tecnología. Se trata de adaptar un marco teórico esencialmente dinámico como es el de la difusión de innovaciones para realizar un análisis estático. Por último se propone la utilización de los modelos ordenados para estudiar la adopción de innovaciones cuando existen varias generaciones de capital que incorporan los avances tecnológicos en distinto grado. Dicha técnica de análisis es aplicada al estudio de la adaptación de la tecnología de monococción por la empresas del sector azulejero Valenciano.

ABSTRACT

This paper attempts to justify the use of discrete choice models to approach the study of adoption of new technology. It tries to adapt an essentially dynamic theoretical framework such as the diffusion of innovations to carry out a static analysis. Finally, it suggests the use of ordered models to study the adoption of innovations when several capital vintage are embodying technological advances. Such analysis technique is applied by the Valencian tile sector firms to the study of the adoption of single firing tunnel kilns technology.

1. INTRODUCCION

En los últimos años parece haber aumentado el interés por los aspectos económicos que rodean las decisiones de innovación tecnológica. Desde hace un tiempo se han venido presentando distintos modelos que intentan explicar algunos rasgos del progreso técnico. Sin embargo, las aportaciones básicas sobre las que se desarrollan estos modelos se remontan cuando menos a los trabajos de la década de los sesenta. Una característica destacable de las aplicaciones empíricas en este campo consiste en que se utiliza un instrumental econométrico muy simple, muchas veces debido a la escasez de datos que faciliten otro tipo de planteamientos. En este marco, el principal objetivo de este trabajo consiste en utilizar algunos modelos de elección discreta con el fin de estudiar las decisiones de adopción de innovaciones justificando su uso desde el punto de vista teórico. Como marco teórico de referencia utilizaremos los modelos probit de difusión, y como aplicación empírica estudiaremos el caso de la adopción del horno de monococción en la industria azulejera.

Como se verá más adelante, los modelos de difusión explican la velocidad de difusión de una innovación a partir de ciertas características de las empresas. La contrastación de estos modelos exige conocer cómo van evolucionando las características de las empresas a lo largo del tiempo, así como la fecha en la que se utiliza la innovación por primera vez en cada empresa. Como estos datos, en general, no están disponibles, es habitual que entre este tipo de literatura nos encontremos con ejercicios empíricos contruidos "ad hoc" utilizando datos de corte transversal, en los que se intenta analizar qué influencia tiene cada una de las características de las empresas sobre su "propensión" a adoptar la nueva tecnología. El objetivo es utilizar el marco teórico que en los últimos años se ha desarrollado en torno al tema de la difusión de innovaciones e incorporarlo en el esquema de los modelos de elección discreta;

por otra parte, se propone utilizar los modelos ordenados como una forma de abordar el estudio de la adopción de innovaciones incorporadas en distintas generaciones de bienes de capital, utilizando datos de corte transversal.

2. DIFUSION DE INNOVACIONES

El estudio del progreso técnico se divide en tres fases: invención, adopción y difusión. Es la última fase la que ha recibido una mayor atención desde el punto de vista del análisis empírico dada la dificultad que presenta la medición del avance en el conocimiento. La realización de este análisis empírico, que en su día precedió al teórico, caracterizó una serie de rasgos distintivos en la difusión de innovaciones que los desarrollos teóricos posteriores han intentado explicar ⁽¹⁾. No se puede obviar la importancia que tienen los procesos de difusión de nuevas tecnologías: cuando consideramos los efectos del progreso técnico sobre las tasa de crecimiento de una economía, hay que reconocer que ésta no se ve afectada de ninguna forma perceptible por el hecho de que se genere una nueva tecnología, sino cuando su uso es habitual ⁽²⁾.

El estudio de la difusión de innovaciones nos permite analizar por qué, cuando se produce una mejora ésta no se adopta inmediatamente por todos los usuarios potenciales. Parece

¹ Véase por ejemplo el capítulo 5 de Stoneman (1983), Stoneman (1986) o la Parte III de Thirtle y Ruttan (1987).

² A este respecto, Soete y Turner (1984) apuntan a una disminución de la velocidad de difusión de las innovaciones como una causa explicativa importante de la caída en las tasas de crecimiento de la productividad.

bastante evidente que ello se puede explicar por la existencia de costes de información que impidan a las empresas tener conocimiento de una mejora técnica inmediatamente que ésta está disponible para su uso, o bien debido a la existencia de costes de ajuste en la adaptación de esta mejora en el proceso productivo. Sin embargo, estos no son los únicos argumentos y, como veremos, es perfectamente posible considerar como racional que una empresa no adopte una innovación teniendo conocimiento de su existencia, y aunque los costes de ajuste sean despreciables. El marco teórico en el que se ha desarrollado el estudio de la difusión nos permite profundizar en los determinantes del crecimiento económico y el desarrollo, y en nuestro caso va a servir de forma explícita como soporte teórico en la contrastación empírica.

Aunque el análisis de la difusión, bien sea de productos o de procesos, es absolutamente equivalente desde un punto de vista formal, los de este último tipo, en el que nosotros estamos interesados, presentan unas características particulares que han de tenerse en cuenta. El hecho de que consideremos que el progreso técnico está incorporado en los bienes de capital será un elemento crucial en el momento de plantear nuestro análisis empírico. Así, considerando que el progreso técnico se incorpora en el proceso productivo a través de los bienes de capital, la difusión debe entenderse como un ajuste, la transición desde un estado de equilibrio en el que las empresas utilizan la antigua maquinaria hasta otro en el que una determinada proporción de la industria utiliza la nueva tecnología. Se trata por tanto de un proceso que tiene lugar en un estado de desequilibrio y donde el análisis económico debe explicar tanto los determinantes del nuevo equilibrio, como la senda temporal de transición ⁽³⁾.

³ Davies (1979), capítulo 1, considera que el nuevo estado de equilibrio es aquel en el que toda la industria utiliza la nueva tecnología, lo que no es necesariamente cierto. En Metcalfe (1986) se argumenta que es la evolución de los precios lo que explica la propia senda de difusión; y a su vez ésta será distinta para cada nivel óptimo de utilización de la innovación, que también viene determinado por variables económicas.

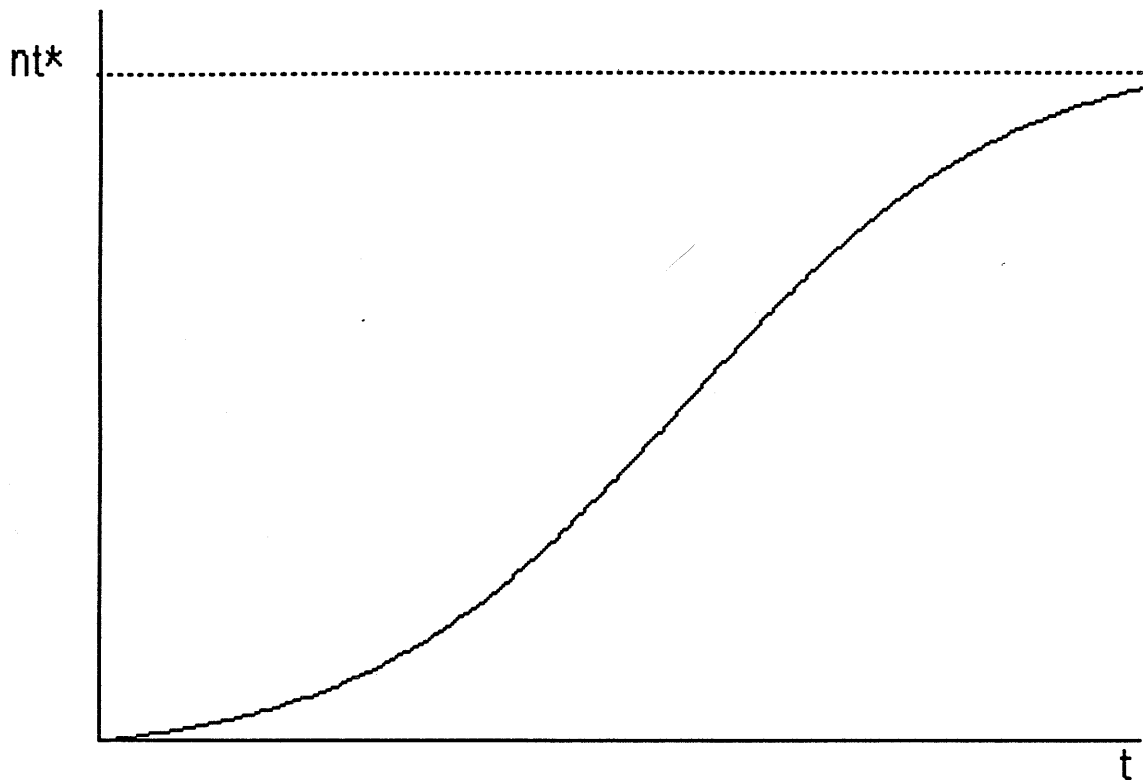


FIGURA 1

Los múltiples análisis empíricos que se han realizado desde mediados de la década de los 50 caracterizan la difusión de innovaciones como un proceso intensivo en tiempo, cuya duración se explica en función de las características propias de la innovación y de los agentes que son potenciales usuarios (⁴). Un hecho notable es que la difusión no tiene lugar a una tasa constante, describiendo el nivel de utilización de la nueva tecnología (o el número de poseedores de la misma), una curva en

⁴ Por ejemplo Griliches (1957) y Mansfield (1968).

forma de S respecto del tiempo. Si se representa cómo varía la proporción de empresas que han adoptado una innovación a lo largo del tiempo, generalmente se obtiene una trayectoria semejante a la representada en la Figura 1. En el momento $t=0$ se produce la adopción de la nueva tecnología por la primera empresa de la industria. A partir de ahí, la proporción de empresas del total de las que existen en ese momento, y que han adoptado la innovación en el instante t , $(n_t = N_t/P_t)$, crece a una tasa moderada en un principio, para acelerarse posteriormente y disminuir cuando la proporción de la industria que ha adoptado la innovación se aproxima al nivel de equilibrio (n^*) . Este modelo se denomina epidémico por la semejanza que presenta el proceso adopción de una innovación por distintas empresas, y el contagio de las enfermedades.

$$\frac{dn_t}{dt} = \beta \frac{n_t}{n^*} (n^* - n_t) \quad [1]$$

La proporción de nuevas empresas que incorporan la innovación en cada momento está en función de la proporción de empresas que todavía no han adoptado, $(n^* - n_t)$; del total de las que son potenciales usuarios de la innovación, n^* , multiplicado por la probabilidad de adopción, que se descompone en la proporción de empresas que ya han efectuado la innovación, n_t/n^* , y en la velocidad de difusión, β . La ecuación [1] tiene como solución una curva logística de la forma:

$$n_t = n^* \cdot [1 + \exp(-\alpha - \beta t)]^{-1} \quad [2]$$

que es la expresión que normalmente se ha utilizado para estudiar empíricamente los procesos de difusión puesto que puede ser fácilmente transformada en:

$$\log \left[\frac{n_t}{n^* - n_t} \right] = \alpha + \beta t \quad [3]$$

Esta especificación ha sido utilizada en un elevado número de trabajos empíricos siguiendo el enfoque de Mansfield (⁵). Esta especificación del modelo ha de estimarse en dos etapas: en primer lugar se estiman α_i y β_i , para cada empresa, a partir de datos de la utilización de la innovación, para posteriormente utilizar las estimaciones de β_i , la velocidad de difusión, como variable endógena a explicar utilizando una serie de características de las empresas, que se consideran relevantes como variables explicativas (⁶). Entre estas características es habitual utilizar los beneficios, el tamaño de la empresa, su grado de liquidez, etc. En definitiva, y aquí radica la mayor dificultad para la aplicación de este modelo, es necesario contar con un panel de datos de características de las empresas y del nivel de utilización de la nueva tecnología.

⁵ Además de los trabajos de Mansfield, se pueden encontrar interesantes aplicaciones en Benvignati (1982b), Nabseth y Ray (1974), Romeo (1975) y Romeo (1977). Polo (1988) aplica este tipo de modelos para la industria española.

⁶ Una generalización analítica de estos modelos epidémicos puede encontrarse en Polo (1986). En el capítulo 2 de Davies (1979) y en el capítulo 7 de Stoneman (1983), se critican estos modelos por la inexistencia de fundamentos económicos que justifiquen su aplicación en el estudio de la difusión de innovaciones a nivel industrial.

Otras veces, se ha utilizado este marco teórico como referencia para delimitar las características de las empresas que adoptan las innovaciones más rápidamente a fin de aportar alguna indicación sobre qué medidas de política económica serían más apropiadas para facilitar la difusión si ésto es lo que se desea. Nuestro trabajo se encuentra más próximo a estos últimos, que en numerosas ocasiones han intentado superar la dificultad de disponer tan sólo de datos de corte transversal. Así pues, se traslada totalmente este esquema, que explica la velocidad de difusión en base a las características de las empresas, al análisis de la adopción de innovaciones. Se trata por tanto de abordar desde un punto de vista estático lo que en esencia es un problema dinámico.

3. EL "MODELO PROBIT" DE DIFUSION

El modelo probit de difusión, que introduce David (1969), hace referencia a las características diferenciadoras de las empresas como variables explicativas de un comportamiento diverso y que tiene como consecuencia, bajo ciertas hipótesis, una trayectoria de difusión en forma de S. Con este esquema ⁽⁷⁾ se pueden abordar de forma adecuada, entre otros, los modelos epidémicos, los que consideran la existencia de incertidumbre, los de generaciones de capital, etc.

La versión más general del modelo afirma que existe una distribución de cierta característica Z entre las empresas de una industria que explica cuándo se adopta una innovación. Esta "variable de estímulo", tiene un nivel crítico, Z_t^* , en cada momento que, una vez superado, determina que la innovación sea rentable al precio actual de la misma. Si Z_t tiene una distribución unimodal ⁽⁸⁾, constante en el tiempo obtenemos como

⁷ Lo que se conoce en la literatura sobre difusión de tecnología como modelo probit de difusión no tiene ninguna relación directa con el modelo econométrico de estimación de variables cualitativas. Esta aclaración parece pertinente en tanto que nosotros vamos a utilizar el modelo probit de difusión como soporte teórico de una contrastación empírica en la que utilizaremos los modelos probit de elección discreta.

⁸ Thirtle y Ruttan (1987). Stoneman (1986) presenta una formulación más general, incorporando el planteamiento de Rosenberg (1976) acerca del papel de las expectativas sobre la evolución futura de la tecnología.

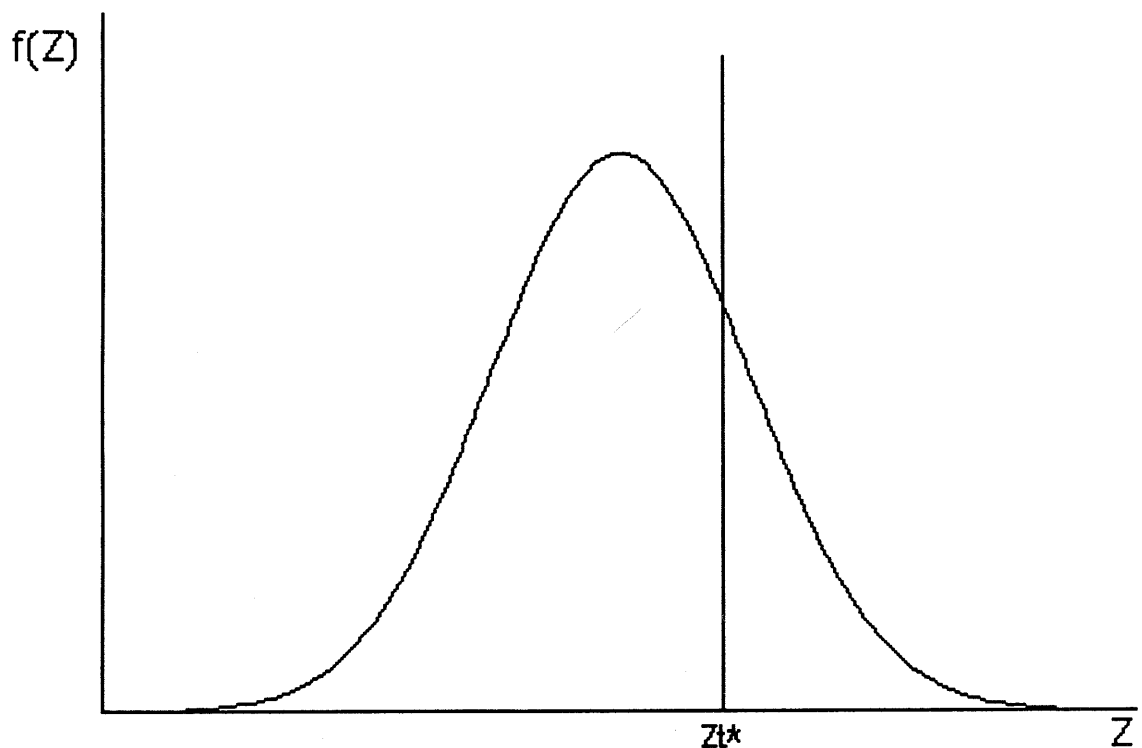


FIGURA 2

trayectoria de difusión la conocida curva en forma de S, que no es más que su integral. La **Figura 2** sirve para ilustrar este planteamiento. Conforme el tiempo pasa el valor crítico de Z disminuye y por tanto el número de empresas para las que es rentable la adopción de la innovación aumenta, de forma que la proporción de empresas que han adoptado en t es,

$$n_t = \text{Prob}(Z_{it} \geq Z_t^*) = 1 - F(Z_t^*) \quad [4]$$

Los cambios en el valor crítico que se produzcan permiten explicar un proceso dinámico como la difusión. Bien sea a través de un mecanismo endógeno o exógeno al modelo, es necesario que el nivel crítico se modifique con el paso del tiempo, haciendo que una proporción cada vez mayor de la industria supere dicho nivel y por tanto adopte la innovación (⁹).

Este planteamiento tiene la virtud de englobar en él una gran parte de los desarrollos teóricos que se han llevado a cabo en este campo. Así por ejemplo, el modelo de Jensen (1982) de adopción bajo incertidumbre determina el momento de adopción cuando la creencia subjetiva de viabilidad de la innovación supera cierto nivel mínimo; en este caso $f(Z)$ consistiría en la función de densidad de las expectativas sobre las variables que determinan la viabilidad de las distintas innovaciones en cada empresa; la modificación del nivel crítico de Z es consecuencia de un proceso de aprendizaje. También en un marco de incertidumbre, el modelo de Feder y Slade (1984) precisa que se acumule cierto nivel de información antes de llevar a cabo la innovación: en este caso Z es el nivel de información de que dispone una empresa de forma que con el propio paso del tiempo,

⁹ En nuestro planteamiento, la determinación de Z_t^* es exógena. Si además de la demanda contemplásemos el papel de la oferta (industria productora de bienes de capital que incorporan la innovación), este valor crítico se explicaría endógenamente: una innovación de proceso para una industria es a su vez una innovación de producto para la industria de bienes de capital. Dependiendo de la estructura y comportamiento de ésta, la evolución en el tiempo del coste de adquisición de la innovación será distinta y por tanto el valor de Z a partir del cual la adopción es rentable diferirá. Véase Stoneman e Ireland (1983).

una reducción del coste de adquisición de la información o una mayor capacidad para procesarla, permite que las empresas superen el nivel mínimo de información necesaria para adoptar la innovación. Incluso el modelo de Mansfield puede ser estudiado desde esta óptica. En este modelo, la difusión viene explicada por la existencia de un riesgo asociado a la introducción de una innovación, riesgo que disminuye conforme el uso de la innovación se generaliza. Elementos como el tamaño de la empresa o la cuota de mercado se utilizan como variables explicativas en tanto que una distinta dimensión de la empresa supone asumir un riesgo distinto al adoptar la misma innovación. En otros términos, si bien el riesgo de adoptar disminuye cuando la producción con la nueva tecnología aumenta, distintas empresas adoptan con niveles de riesgo distinto, que en este caso es lo que representaría Z.

El conocido modelo de generaciones de capital de Salter puede ser muy útil en nuestro estudio y como veremos brevemente, también puede tratarse como un modelo probit de difusión ⁽¹⁰⁾. En este modelo las empresas tienen capacidad de elección de técnicas antes de la adopción, pero una vez realizada ésta, incorporada en los bienes de capital fijo, no es posible que se les aplique ningún tipo de mejora. La inversión, por tanto, consiste en la instalación de bienes de capital de la última generación. Mientras, en el resto de las empresas de la industria, coexiste una amalgama de bienes de capital de distintas generaciones. El

¹⁰ Véase el capítulo 4 de Salter (1966) y la sección II de David (1969).

proceso de difusión tiene lugar a la vez que se abandona la utilización de ciertas generaciones de bienes de capital (achatarramiento), cuando no es posible cubrir con dichas técnicas los costes variables unitarios. Una nueva generación sólo llega a introducirse en la industria si supone una reducción de costes, por lo tanto, las empresas que dispongan de las generaciones de capital más antiguas serán aquellas que soporten los costes más elevados. Tras la adopción, el proceso de difusión tiene lugar aumentando la producción de la industria hasta que el precio de mercado se reduce lo suficiente como para igualar los costes medios totales de las empresas que han introducido la innovación. Si este precio no cubre los costes variables unitarios de algunas plantas, se abandonará el capital de la generación antigua y se adoptará el stock de capital que incorpora la tecnología disponible más moderna. El paralelismo con el modelo probit de difusión es absoluto: aquí, la variable determinante, Z , es el mínimo de los costes medios de cada empresa (que diverge entre empresas porque cada una dispone de bienes de capital de distintas generaciones), y el nivel de Z_t^* a partir del cual está justificado que se adopte la nueva tecnología, está determinado por el precio de los bienes de capital de la última generación y por su capacidad de reducir costes (rentabilidad).

En ningún caso hemos de suponer que hacer depender la adopción de la evolución de una variable característica de la empresa nos aleja del marco habitual de maximización de

beneficios en el que se encuadra el análisis del comportamiento empresarial. Cada uno de estos modelos presta especial atención a un elemento que incide sobre la decisión racional de invertir o no en nueva tecnología. Para maximizar beneficios cuando existe incertidumbre, lo racional consiste en considerar la magnitud del riesgo de adopción, y ponderar cómo va evolucionando el mismo.

El planteamiento de Salter analizado desde el punto de vista de los modelos probit de difusión nos permite interpretar la variable de estímulo y el umbral que determina si una empresa adopta como una forma de representación de un comportamiento maximizador racional de las empresas a largo plazo, que reducen costes, incorporando sucesivas generaciones de capital, de acuerdo con la evolución de los precios que condicionen la rentabilidad de la innovación: el precio de la innovación misma y el del producto; el primero determina la envergadura de la inversión que debe realizar la empresa para incorporar la nueva tecnología y el segundo determinará su rentabilidad.

4. EL SECTOR DE PAVIMENTOS Y REVESTIMIENTOS CERAMICOS

La elección de este sector no es arbitraria, sino que reúne una serie de características interesantes desde el punto de vista del análisis como puede ser la elevada concentración geográfica de esta industria, su carácter dinámico, y las características propias de la innovación (adopción del horno de monococción) que supone cierta ruptura sobre las innovaciones anteriores en tanto que implica un grado de automatización considerable o la exigencia de sustitución de la fuente energética (¹¹). Se trata por tanto de una innovación con unos costes de ajuste asociados bastante elevados y que a su vez se acompaña de una innovación de producto, lo que aumenta la importancia del diseño y facilita la evolución de las empresas hacia otras formas organizativas.

El modelo de Salter parece especialmente apropiado en este caso puesto que la industria azulejera se podría calificar en términos generales de competitiva, y además en ella coexisten empresas que actualmente utilizan distintos hornos, y empresas que utilizan distintos tipos de hornos conjuntamente. Utilizaremos este planteamiento para intentar determinar qué influencia tienen ciertas variables sobre la decisión de utilizar cada tipo de horno.

¹¹ González (1982) discute la problemática del sector.

No se puede profundizar excesivamente en el conocimiento de este sector con la información de que disponemos, pero al menos se puede intentar la realización de un ejercicio empírico en el que estudiemos, a partir de datos de corte transversal qué influencia tienen algunas características de las empresas sobre la decisión de adopción de nueva tecnología.

Los datos de que disponemos están constituidos por un conjunto de características de las empresas que utilizan cada tipo de horno referidas a una amplia muestra (casi 200 observaciones) de empresas de este sector a comienzos de 1988. Estos datos, disponibles en una publicación de los fabricantes del sector, recojen un conjunto de variables cualitativas que caracterizan, a mi entender de forma insuficiente, las distintas empresas.

Las empresas utilizan distintos tipos de hornos: de primera cocción para la fabricación de baldosas o para la fabricación de bizcocho (¹²), de bicocción de ciclo completo o exclusivamente de segundo ciclo (esmaltado), y por último el horno de monococción (¹³). Definimos una variable dicotómica que toma el valor 1 si la

¹² El tratamiento de las empresas que utilizan este tipo de horno es delicado puesto que el bizcocho es un producto intermedio que luego utilizan empresas con otro tipo de horno. Si una empresa utiliza este horno y adopta otro (bicocción o monococción) además de un proceso de difusión se estaría produciendo un proceso de integración en la industria azulejera.

¹³ Este horno permite la producción de gres y de distinto tipo de baldosas con mayor flexibilidad que los anteriores. Sabemos si una empresa utiliza varios tipos de hornos, pero en ningún caso en qué proporción utiliza cada uno de ellos.

empresa utiliza el horno de monococción ($Y=1$). Como características de las empresas disponemos de cuatro variables ficticias que indican el tipo de baldosas que produce cada empresa: extruidas [EXTR], prensadas [PREN], esmaltadas [ESMAL], y no esmaltadas [NOESM]. Otras tres variables ficticias indican la ubicación de las empresas: Castellón [L1], resto de la Comunidad Valenciana [L2], y resto de España [L3]. También conocemos el tamaño de la plantilla por tramos, que definen un conjunto de seis variables ficticias: menos de 25 empleados [N1], entre 25 y 50 [N2], entre 50 y 100 [N3], entre 100 y 200 [N4], entre 200 y 300 [N5], y más de 300 empleados [N6]. Con estos datos de corte transversal intentaremos delimitar cuál de ellas tiene una mayor importancia para que una empresa adopte la innovación (¹⁴). Se trata por tanto de caracterizar la variable de estímulo Z, para lo que vamos a utilizar distintos modelos econométricos de variables dependientes cualitativas (¹⁵).

¹⁴ Para realizar la estimación se omiten las variables [N1] y [L3] a fin de evitar problemas de multicolinealidad. Una caracterización tan limitada de las empresas puede plantear problemas. Si la decisión de adopción de la nueva tecnología estuviese influida por otras variables distintas de las que aquí se tienen en cuenta, la estimación de los parámetros sería sesgada.

¹⁵ Entre los trabajos que realizan un análisis similar a éste, se incluyen los de Benvignati (1982a), Millán y Ruíz (1987), Oster (1982) y Polo y Salas (1988). Siguiendo el mismo planteamiento, a fin de caracterizar la variable de estímulo Z, Yapa y Mayfield (1978) utilizan el análisis discriminante.

5. MODELO UNIVARIANTE DICOTOMICO: PROBIT

Postulamos que el nivel de beneficios de una empresa depende de una variable característica Z . Si una empresa adopta la innovación obtiene unos beneficios $b_{i1}(Z_{it})$, y $b_{i0}(Z_{it})$ si la empresa no adopta. En el modelo teórico de Salter, si el precio de mercado de la industria no es suficiente para cubrir los costes variables de una empresa, ésta abandona el capital que utiliza y adopta la nueva tecnología. Por tanto los beneficios dependerán de cuál sea el valor del mínimo de los costes medios de cada empresa. De esta versión extrema del modelo se podría deducir que una empresa no adopta en tanto que obtenga beneficios. Sin embargo esto no es exáctamente así, sino que para que la empresa adopte, el aumento en el valor presente de los beneficios futuros generados por la innovación deben superar el coste de la misma. Si los beneficios que obtiene una empresa, independientemente de la decisión que tome, son constantes en cada período, entonces, su valor presente será:

$$\pi_{ij}(Z_{it}) = \int_t^{\infty} b_{ij}(Z_{it}) \cdot e^{-r(v-t)} dv = b_{ij}(Z_{it})/r \quad ; j = 0, 1. \quad [5]$$

El valor presente de los beneficios futuros de la empresa "i-ésima", caracterizada por un valor de la variable de estímulo Z_{it} en el instante t , sería $\pi_{i1}(Z_{it})$ en caso de adoptar la innovación en ese momento y $\pi_{i0}(Z_{it})$ en caso contrario. De esta

forma, la empresa "i-ésima" adoptará la innovación en tanto que los beneficios esperados de la misma superen a los de no adoptar en una cuantía suficiente como para cubrir el coste de adquisición de la innovación, p_t (¹⁶). Así:

$$\pi_{i1}(Z_{it}) - \pi_{i0}(Z_{it}) \geq p_t \quad [6]$$

Los modelos de elección discreta fueron fundamentados teóricamente por McFadden (1974) en términos de una función de utilidad estocástica. Su argumentación puede ser fácilmente aplicada a nuestro caso. El nivel de beneficios esperado por la empresa en cada caso es función del nivel de la variable de estímulo, que nosotros aproximamos por un vector de n características de las empresas de la siguiente forma:

$$Z_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 X_{1i} + \dots + \alpha_n X_{ni} + \sigma_i \quad [7]$$

Supongamos que en cada situación existe una función de beneficios estocástica y que depende de forma lineal del nivel de la variable de estímulo ($j=1$ si la empresa adopta la innovación):

$$\pi_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} Z_{it} + \delta_{ij} \quad j = 0, 1. \quad [8]$$

¹⁶ Véase Stoneman (1986). En el capítulo 4 de Salter (1966), cuando trata de las decisiones de reposición y achatarramiento, se indica que además, los excedentes futuros esperados deben permitir obtener una tasa de rendimiento normal. Obviamos aquí el papel de las expectativas de mejora de la futura tecnología (miopía).

El nivel de beneficios de una empresa depende de cuál sea el precio de mercado en relación con sus costes medios. El término de error puede recoger los beneficios generados por oscilaciones transitorias de la demanda. Haciendo la hipótesis de que los términos de error de estas dos últimas ecuaciones son independientes (¹⁷), podemos sustituir [7] en [8], relacionando directamente el nivel de beneficios esperados con el conjunto de características de la empresa:

$$\pi_{ij} = X_i' \beta_j + \mu_{ij} \quad j = 0, 1. \quad [9]$$

Donde:

$$\mu_{ij} = \beta_{1j} \sigma_i + \delta_{ij} \quad [9.1]$$

y los componentes del vector de parámetros β_j :

$$\beta_{0j} = \beta_{0j} + \beta_{1j} \alpha_0 \quad [9.2]$$

$$\beta_{kj} = \beta_{kj} \alpha_k \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad [9.3]$$

El término de error μ_{ij} puede interpretarse como los beneficios de cada empresa, en cada situación, que no están explicados por las características disponibles o bien porque

¹⁷ En el caso de que esto no fuese así, estas dos ecuaciones podrían constituir un modelo de ecuaciones simultáneas donde las ecuaciones están aparentemente no relacionadas.

éstas no son observables: cierto poder de monopolio, imagen de marca, acceso privilegiado a la nueva tecnología,... etc. De este modo empresas con características observadas idénticas no tienen por qué esperar obtener un mismo nivel de beneficios. Retomando la condición [6] de adopción de la nueva tecnología, la probabilidad de que una empresa adopte ($Y_i=1$), será:

$$\begin{aligned} \text{Prob}[Y_i=1] &= \text{Prob}[\pi_{i1} > \pi_{i0} + p_t] = \\ &= \text{Prob}[X_i' \tilde{\pi}_1 + \mu_{i1} > X_i' \tilde{\pi}_0 + \mu_{i0} + p_t] = \\ &= \text{Prob}[(\mu_{i0} - \mu_{i1}) + p_t < X_i' (\tilde{\pi}_1 - \tilde{\pi}_0)] \end{aligned} \quad [10]$$

Desconocemos cuáles son los valores presentes de los beneficios de las empresas en cada caso y el coste de la innovación, pero sin embargo esto no presenta mayor dificultad; sabemos si una empresa adopta, y de este modo podemos conocer la propensión de una empresa a adoptar la nueva tecnología a partir de:

$$Y_i^* = X_i' (\tilde{\pi}_1 - \tilde{\pi}_0) - (\mu_{i0} - \mu_{i1}) - p_t \quad [11]$$

De modo que $Y_i = 1$ cuando $Y_i^* > 0$ (¹⁸). Esta variable es el exceso del precio de reserva de cada empresa sobre el precio de

¹⁸ Nosotros no observamos en ningún caso el valor de Y_i^* , esto es, el aumento en el valor presente de la empresa una vez descontado el coste de la innovación, sino que observamos si la empresa adopta o no la nueva tecnología. Bajo el supuesto de que la empresa actúa racionalmente, ésta no va a innovar si ello no le permite aumentar sus beneficios, de modo que aunque podemos explicar el comportamiento de las empresas en base a los beneficios que obtienen con cada decisión, no tenemos por qué referirnos a los mismos de forma explícita. Véase Amemiya (1981).

compra de la innovación en un momento determinado. El término $x_i'(\bar{x}_1 - \bar{x}_0)$ ha de interpretarse como el precio de reserva observado para cada empresa en base a las características de las mismas de las que se tenga información, mientras que p_t es el precio máximo que en cada momento determina si una empresa adopta la innovación o no. Lo que tenemos, de hecho es una distribución de los precios de reserva de las empresas. Una distribución del precio de reserva, semejante a la de la Figura 2, explicaría una trayectoria de difusión en forma de S conforme el precio de la innovación fuese disminuyendo. Ahora, reescribiendo la ecuación [4], tenemos que:

$$n_t = \text{Prob}[x_i'(\bar{x}_1 - \bar{x}_0) - (\mu_{i0} - \mu_{i1}) \geq p_t] = 1 - F(p_t) \quad [4.a]$$

Como se considera que p_t es constante en cada período, podemos transformar la expresión [8] de modo que refleje los beneficios netos del coste de adopción:

$$\pi_{ij}^* = (\beta_{0j} - p_{jt}) + \beta_{1j}z_{it} + \delta_{ij} \quad j = 0, 1. \quad [8.a]$$

Esta formulación será útil en adelante: p_{jt} es el coste de adquisición de una innovación de la clase "j-ésima". Por ahora sólo consideramos dos alternativas, adoptar la innovación o no. Por tanto, en este caso particular si la empresa decide innovar, incurre en un gasto $p_{1t} = p_t$, y en otro caso $p_{0t} = 0$. Por tanto:

$$\pi_{ij}^* = X_i' \theta_j + \mu_{ij} \quad j = 0, 1. \quad [9.a]$$

$$\theta_{0j} = \beta_{0j} - p_{jt} + \beta_{1j} \alpha_0 = \beta_{0j} - p_{jt} \quad [9.2.a]$$

$$\theta_{kj} = \beta_{kj} \alpha_k = \beta_{kj} \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad [9.3.a]$$

De este modo:

$$\begin{aligned} \text{Prob}[Y_i=1] &= \text{Prob}[Y_i^* > 0] = \text{Prob}[\pi_{i1}^* > \pi_{i0}^*] = \\ &= \text{Prob}[X_i' \theta_1 + \mu_{i1} > X_i' \theta_0 + \mu_{i0}] = \\ &= \text{Prob}[\mu_{i0} - \mu_{i1} < X_i' (\theta_1 - \theta_0)] = \\ &= F(X_i' \theta) \end{aligned} \quad [10.a]$$

Donde $F(X_i' \theta)$ es la función de distribución de la diferencia de residuos, $\mu_{i0} - \mu_{i1}$, (componente aleatorio del precio de reserva de las empresas) que se consideran variables aleatorias continuas. En el caso del modelo probit, se supone que esta distribución es normal.

CUADRO 1

Estimación de un modelo PROBIT. Adopción del horno de monococción.			
LFV.....		-103.42	AIC..... 115.42
Variable	Coeficiente	Error Std.	T-ratio
ONE	-1.59171	.6444	-2.470
N2	.941144	.2683	3.508
N3	1.18273	.2887	4.097
N4	1.36577	.3978	3.433
N5	2.63538	.8206	3.211
N6	6.24200	352.4	.018
EXTR	.378158	.7758	.487
PREN	-.315268	.7435	-.424
ESMAL	.867989	.5387	1.611
NOESM	-.391573	.4892	-.800
L1	.262245	.3058	.858
L2	-1.25763	.6528	-1.926

En el Cuadro 1 se recogen los resultados de un modelo como este para la industria azulejera. Una conclusión que cabía esperar obtener es que la probabilidad de adoptar el horno de monococción aumenta con el número de empleados de la empresa (¹⁹). El tipo de producto y la localización no parecen ser relevantes (ni tan siquiera a un nivel de significatividad del 10%), mientras que el signo negativo de la variable L2 se puede explicar quizá por el escaso número de empresas que se incluyen en esta categoría, todas con unas características muy

¹⁹ Recuérdesse que $\text{Prob}[Y_i=1] = F(X_i'\theta)$, y que por tanto el valor de un parámetro no indica cuál es la probabilidad de que la empresa adopte si, por ejemplo, se encuentra en determinada categoría de nivel de empleo, aunque, como todas las variables endógenas son dicotómicas, sus magnitudes indican la influencia relativa de cada una de ellas.

particulares, que excluyen la utilización del horno de monococción (fabricación de bizcocho) ⁽²⁰⁾.

Hemos visto cómo el planteamiento del modelo de David recoge el comportamiento optimizador de los empresarios: que una empresa adopte cuando el valor de cierta característica supere un valor crítico es así porque dependiendo de ella o de una combinación lineal de distintas características de las empresas, cada una obtiene un nivel de beneficios distinto al adoptar, de modo que difieren entre sí en el precio de reserva al que comprarían la nueva tecnología ⁽²¹⁾.

6. MODELO PROBIT ORDENADO

El planteamiento teórico de McFadden puede ser extendido fácilmente para el caso de más de dos alternativas pero dada la naturaleza de nuestro problema no creemos que éste sea el enfoque

²⁰ Con el número de observaciones de que disponemos un parámetro es significativo al 95% si su t de Student es mayor a 1.96, y al 90% si supera el valor de 1.65. LFV es el valor del logaritmo de la función de verosimilitud y AIC el criterio de información de Akaike tal como se define en Amemiya (1981).

²¹ Véase el capítulo 6 de Stoneman (1987).

más adecuado (²²). En el caso de varias alternativas, nosotros deberíamos considerar qué horno o tipo de hornos utiliza la empresa. Sin embargo no parece que una empresa se enfrente a unas alternativas como éstas en el momento de elegir la tecnología a utilizar, sino que, partiendo de una situación en concreto, bien sea que utilizaba otro tipo de horno, bien sea que la empresa va a entrar en la industria, ésta tenderá a adoptar probablemente la mejor tecnología disponible en el momento. Lo que ocurre es que, como se indicaba en el modelo de Salter, en un momento dado, en una industria coexisten distintas generaciones de capital que se fueron adoptando en distintos momentos del tiempo, cuando incorporaban la mejor tecnología disponible. Los distintos tipos de hornos que hemos comentado anteriormente que coexistían actualmente no han sido en todo momento cuatro alternativas disponibles para las empresas. Además, el coste en que se incurre al adoptar un tipo concreto de horno (determina una estructura productiva u otra) no es un elemento despreciable; de hecho la adopción de un horno en concreto comporta un coste mayor o menor dependiendo de cuál se utilizaba anteriormente.

Es por ello que vamos a distinguir otras situaciones dentro del conjunto de empresas que no han adoptado el horno de

²² En el caso de N alternativas deberíamos trabajar con modelos probit multinomiales, de difícil contrastación puesto que su uso implica evaluar $N-1$ integrales de una función de distribución normal multivariante. Es más operativo utilizar en tal caso los modelos logit multinomiales, aunque ello presenta el conocido problema de la independencia de las alternativas irrelevantes. Hemos realizado el análisis logit multivariante, pero los resultados no son satisfactorios. Al respecto véase el capítulo 3 de Maddala (1983).

monococción, o no lo han hecho completamente, agrupando en distintas categorías empresas que utilizan cada tipo de horno o combinaciones de los mismos. Se pretende con esta clasificación que cada categoría sea estadísticamente significativa y lo más homogénea posible desde el punto de vista tecnológico:

- Hornos de primera cocción ($Y_i=0$).
- Hornos de bicocción ($Y_i=1$).
- Hornos de monococción junto con otro tipo ($Y_i=2$).
- Hornos de monococción exclusivamente ($Y_i=3$).

La idea esencial es que ahora no existe un único punto a partir del cual una empresa adopta o no, sino que dependiendo de que el valor del precio de reserva que sea relevante supere un umbral u otro, se adoptará una u otra innovación. Como existen distintas generaciones de bienes de capital que pueden utilizarse, y como cada empresa parte de una situación diferente (utilizando distintas clases de hornos o combinaciones de los mismos), existirán distintos precios de reserva dependiendo del tipo de horno que se pretenda instalar y de la tecnología que utiliza actualmente.

Una nueva generación de capital se utilizará en tanto que permita reducir los costes de producción o aumentar y diversificar la producción de modo que aumenten los beneficios

(²³). Además, el coste de cada nueva generación es más elevado que el de las anteriores (²⁴):

$$P_{3t} \geq P_{2t} \geq P_{1t} \geq P_{0t} \quad [12]$$

En nuestro caso, si el valor presente de los beneficios de la utilización de la generación de capital 1 superan a los que se obtendrían con la generación 0 en una cuantía superior al coste de estos últimos, la empresa podría adoptar los bienes de la generación 1. Tanto en el caso en el que la utilización de esta tecnología sea rentable o no, cada empresa puede también plantearse si es rentable la instalación de otros tipos de capital (los disponibles en el momento de tomar la decisión). Una

²³ Una innovación se utilizará en tanto que reduzca los costes de producción, y por tanto, dados los precios de los factores y del producto, que aumente los beneficios. Se podría pensar que independientemente de las características de las empresas, se cumple que $\pi_{i3}(Z_{it}) \geq \pi_{i2}(Z_{it}) \geq \pi_{i1}(Z_{it}) \geq \pi_{i0}(Z_{it})$ pero no hay razón para que esto sea así. Observando la Figura 3 podemos ver que utilizando la generación C, cualquier empresa reduciría sus costes fuese cual fuese su nivel de producción, respecto de la situación en la que utiliza la generación A o B. Sin embargo esto no es así entre estas dos últimas: a menos que la empresa que utiliza la generación A no produzca por encima de Y^* no será posible que obtenga beneficios de la utilización de la generación B.

²⁴ Anteriormente hicimos referencia al artículo de Rosenberg (1976) cuya idea principal es que la expectativa de aparición de una mejora tecnológica competitiva con métodos ya existentes, frenan la velocidad de difusión de estos últimos. Para que una tecnología que es parcialmente obsoleta en cuanto aparece otra superior se utilice, es necesario que su coste disminuya a fin de que, para algunas empresas, su uso sea más rentable que el de la mejor tecnología disponible.

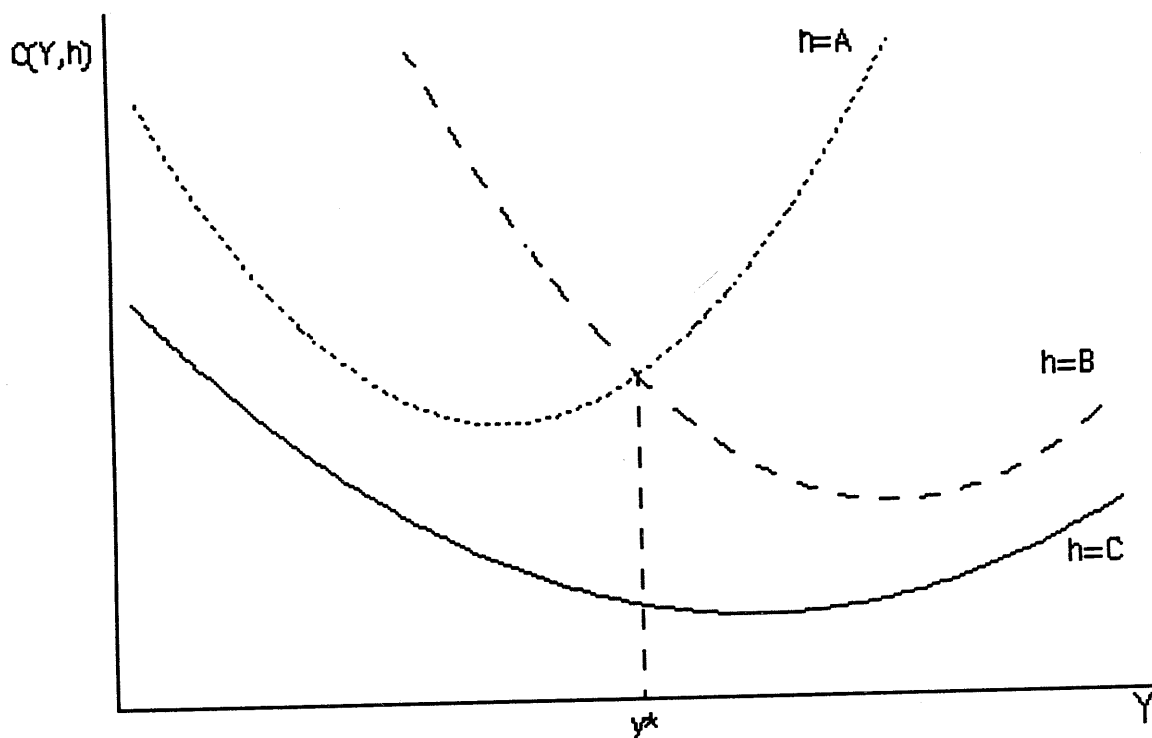


FIGURA 3

empresa que utiliza la generación de capital h puede adoptar la innovación incluida en la generación j si:

$$\pi_{ij}(Z_{it}) - \pi_{ih}(Z_{it}) \geq P_{jt} \quad \begin{array}{l} j = 1, 2, 3. \\ h = 0, 1, 2. \end{array} \quad [13]$$

Por tanto el precio de reserva para cada empresa de cada tipo de tecnología está condicionada por la situación de partida (la estructura de costes inicial) y la resultante tras la adopción.

Así, cada empresa utiliza aquella tecnología con la que obtiene un mayor beneficio, o lo que es lo mismo, dados los precios de las distintas generaciones de capital, elegirá aquel tipo que, generando los beneficios más altos posibles, tenga un precio de adquisición inferior al precio de reserva máximo de la empresa. Generalizando [11], el precio de reserva de la generación de capital j para la empresa i que utiliza la tecnología h es:

$$r_{ij}^h = X_i' (\bar{s}_j - \bar{s}_h) - (\mu_{ih} - \mu_{ij}) \quad j = 1, 2, 3.$$

$$h = 0, 1, 2. \quad [14]$$

Definimos:

$$R_i = \text{Max } r_{ij}^h = X_i' \tau + \epsilon_i \quad [15]$$

Entonces, la empresa i adopta una innovación u otra dependiendo de:

$$Y_i = 0, \quad \text{si} \quad R_i < P_{1t} \quad [16.0]$$

$$Y_i = 1, \quad \text{si} \quad P_{1t} < R_i < P_{2t} \quad [16.1]$$

$$Y_i = 2, \quad \text{si} \quad P_{2t} < R_i < P_{3t} \quad [16.2]$$

$$Y_i = 3, \quad \text{si} \quad P_{3t} < R_i \quad [16.3]$$

La utilización de modelos ordenados está justificada cuando los valores que toma la variable discreta dependiente están

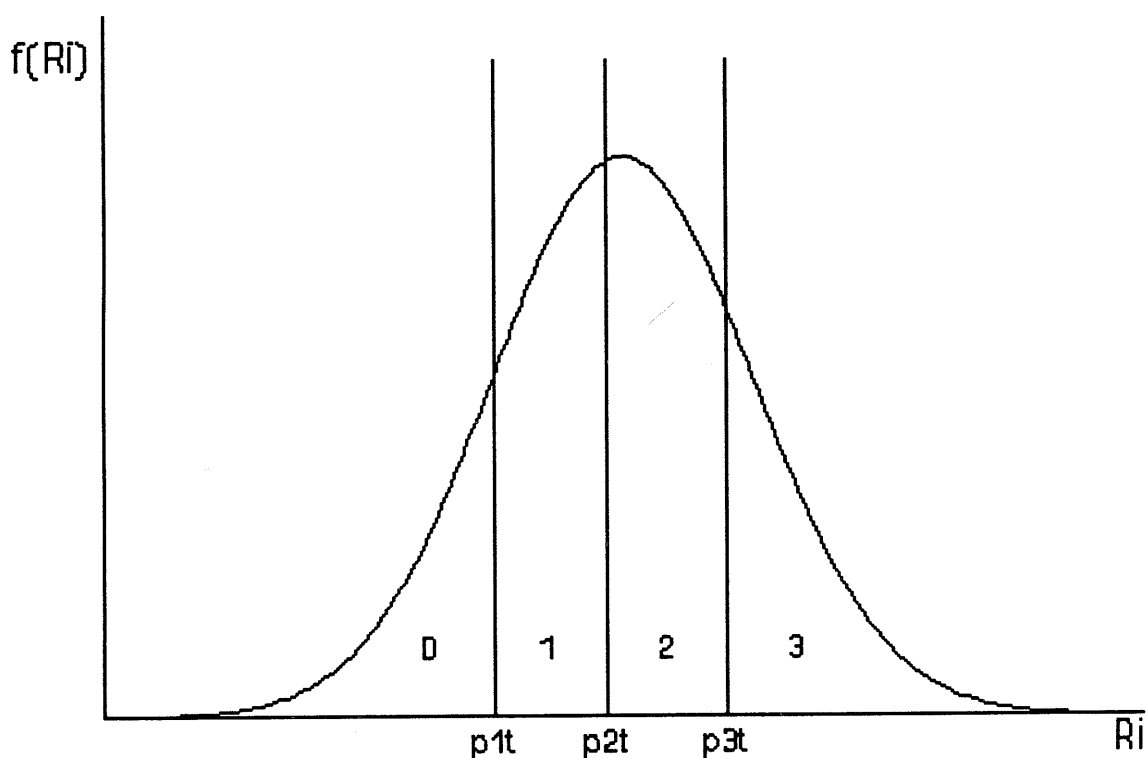


FIGURA 4

asociados a los intervalos dentro de los que toma valores una variable no observable (²⁵). Los modelos ordenados suponen cierta clasificación jerárquica de las distintas alternativas: para nosotros, aquellas empresas que utilicen el horno de monococción (la generación de capital más reciente) se están prejuzgando "más avanzadas" que las que lo utilizan junto con otro tipo de horno,

²⁵ Véase el capítulo 2 de Maddala (1983) y muy especialmente Amemiya (1981) y los trabajos allí citados.

y éstas por encima de las que no lo utilizan (²⁶). En nuestro caso, la variable dependiente toma distintos valores ($Y_i=0,1,2,3$) en función de cuál sea el precio máximo de reserva de cada empresa, R_i , que es una variable no observable. Por tanto, normalizando $\text{Var}(\epsilon)=1$:

$$\text{Prob}[Y_i \leq j] = \Gamma(p_{j+1,t} - X_i' \tau) \quad [17]$$

Donde $\Gamma(\cdot)$ es la función de distribución del precio de reserva máximo de cada empresa. Por tanto (véase Figura 4):

$$\text{Prob}[Y_i=0] = \Gamma(p_{1t} - X_i' \tau) \quad [18.0]$$

$$\text{Prob}[Y_i=1] = \Gamma(p_{2t} - X_i' \tau) - \Gamma(p_{1t} - X_i' \tau) \quad [18.1]$$

$$\text{Prob}[Y_i=2] = \Gamma(p_{3t} - X_i' \tau) - \Gamma(p_{2t} - X_i' \tau) \quad [18.2]$$

$$\text{Prob}[Y_i=3] = 1 - \Gamma(p_{3t} - X_i' \tau) \quad [18.3]$$

Normalizando $p_{1t}=0$ (²⁷) y definiendo una variable dicotómica en función de la alternativa que escoge cada empresa: $y_j=1$ si

²⁶ No nos ha parecido que la utilización de otros modelos de multirrespuesta como el probit secuencial estuviesen indicados para nuestro caso. Este tipo de modelos impondría la restricción de que la última generación de capital sólo puede ser utilizada por las empresas que han utilizado todas las anteriores.

²⁷ No es posible identificar los distintos umbrales y el término independiente del modelo. Sobre los problemas de identificación de parámetros en los modelos ordenados véase el ejemplo 3.2 de Amemiya (1981) y las pp. 22-23 y 47 de Maddala (1983).

$Y_i=j$, los resultados que se presentan en el Cuadro 2 se obtienen de maximizar la siguiente función de verosimilitud sobre el conjunto de ($m=199$) empresas:

$$L = \prod_{i=1}^m [\Gamma(p_{1t}-X_i'\tau)]^{y_0} \cdot [\Gamma(p_{2t}-X_i'\tau) - \Gamma(p_{1t}-X_i'\tau)]^{y_1} \cdot [\Gamma(p_{3t}-X_i'\tau) - \Gamma(p_{2t}-X_i'\tau)]^{y_2} \cdot [1 - \Gamma(p_{3t}-X_i'\tau)]^{y_3} \quad [19]$$

Los resultados son algo diferentes a los anteriores. Cuando contemplamos la existencia de distintos tipos de hornos, tanto la localización como el tipo de producto son significativos. Esto último está justificado porque con los hornos más modernos se puede ampliar la gama de productos y obtener otros que con la antigua tecnología no son posibles (gres). Se produce por tanto una innovación de proceso simultánea con otra de producto.

CUADRO 2

Estimación de un modelo PROBIT ORDENADO. Adopción de cuatro tipos distintos de hornos.			
LFV.....	-196.03	AIC.....	210.03
Variable	Coefficiente	Error Std.	T-ratio
ONE	.203737	.4453	.457
N2	.898437	.2464	3.646
N3	.965805	.2565	3.765
N4	1.31244	.3610	3.636
N5	1.12335	.8634	1.301
N6	1.76208	.6910	2.550
EXTR	-.132177	.5910	-.221
PREN	-1.15971	.5663	-2.048
ESMAL	2.21142	.4486	4.930
NOESM	-.571891	.4626	-1.236
L1	.100566	.2456	.409
L2	-.994117	.4372	-2.274
p2	1.97425	.2980	6.626
p3	2.51923	.3058	8.239

Además, los segmentos intermedios de empleo son muy significativos. Este resultado podría conducirnos a conclusiones erróneas. El tamaño de la planta parece ser determinante en esta industria para abordar la adopción de los hornos de monococción. Por lo tanto cuanto mayor sea la plantilla, mayor es el beneficio esperado de la introducción de la nueva tecnología puesto que ésta reduce costes de mano de obra de forma importante. Observando los resultados, vemos que las últimas categorías de empleo no son relevantes. Observar cuál es la situación de la industria en un momento determinado del tiempo tiene el inconveniente de que impide analizar qué ha ocurrido antes y después de la adopción. Parece plausible que en esta industria

tan sólo unas pocas empresas, debido a su elevada producción tienen, después de haber adoptado la innovación, una elevada plantilla, mientras que la mayoría de las empresas reducen la mano de obra empleada tras la innovación. De este modo, cuanto mayor es la plantilla, más incentivos hay a adoptar la innovación, pero una vez realizada ésta, el tamaño de la plantilla tiende a disminuir.

7. EL PAPEL DE LAS EXPECTATIVAS

Hasta ahora sólo hemos comentado superficialmente el papel que juegan las expectativas de evolución del precio de la innovación sobre la decisión de adopción. Sin embargo, parece evidente que la evolución futura del coste de la tecnología afectará a las decisiones de adopción, de modo que si se espera que el precio de ésta disminuya, aparecerán incentivos para retrasar el momento de la adopción. Se reduce así la velocidad de difusión, y la probabilidad de que una empresa haya adoptado la innovación en un momento determinado será menor cuanto mayor sea la ganancia esperada del retraso en la adopción.

La expectativa de una reducción en el precio de la tecnología se basa, de acuerdo con Rosenberg (1976), en la posibilidad de aparición de otras innovaciones que proporcionen unos mayores beneficios que la innovación actual. Como las mejoras tecnológicas se incluyen en sucesivas generaciones de capital, siempre que se adopte una innovación hay que ponderar la posibilidad de que en un breve plazo de tiempo aparezca otra generación de capital que incorpore una tecnología superior; la adopción de una determinada tecnología que en breve se vuelve obsoleta reduce la rentabilidad de la inversión al haber incurrido la empresa que ha adoptado en un coste ineludible que además le sitúa en desventaja con respecto a aquellas empresas que no habiendo adoptado la tecnología obsoleta son potenciales usuarias de la nueva generación de capital.

La expectativa de aparición de nueva tecnología reduce la rentabilidad esperada de la actual, y por tanto su precio de reserva. De este modo, la adopción de las generaciones de capital que no incluyen la tecnología más avanzada sólo se producirá si su coste se reduce. Esta es la justificación de [12], pero no es la única razón por la que el precio de la tecnología se reduce en el tiempo. También hay que contar con la posibilidad de que se produzca cierto aprendizaje en la industria que produzca la innovación, de modo que con el paso del tiempo y conforme se va produciendo, el coste de la innovación se reduce. En tal caso hay fuerzas de sentido contrario que influyen sobre la decisión de adopción de la nueva tecnología: cuanto antes se adopte, mayores

serán los beneficios que se obtengan precisamente por disponer de una ventaja relativa al conjunto de la industria, pero a su vez, cuanto antes se adopte mayor será el coste en el que se incurre (²⁸). En cualquier caso, es evidente que el precio de la innovación tiende a reducirse con el tiempo y que es absolutamente necesario considerar el papel de la oferta en el proceso de adopción y difusión de la nueva tecnología. Por todo ello, una condición de adopción más general que [6] es (²⁹):

A) Una innovación es beneficiosa en tanto que el aumento en el valor presente de los beneficios que genera iguala al menos el coste de adquisición en ese momento:

$$\pi_{i1}(Z_{it}) - \pi_{i0}(Z_{it}) \geq p_t \quad [6.a]$$

B) No es rentable retrasar un período la adopción de la nueva tecnología si el aumento en los beneficios de la adopción supera la reducción de precios esperada de la innovación, es decir si $b_{i1}(Z_{it}) - b_{i0}(Z_{it}) \geq (1+r)p_t - p_{t+1}^e$, o lo que es lo mismo, que el aumento en el valor presente de los beneficios supere el valor presente de la ganancia esperada del retraso en un período en la adopción de la nueva tecnología debida a una reducción en el coste de la misma:

²⁸ Un desarrollo basado en el planteamiento de Rosenberg (1976) se puede encontrar en Balcer y Lippman (1984). El enfoque que contempla explícitamente el papel de las expectativas, la oferta y el aprendizaje véase Ireland y Stoneman (1986), y Stoneman e Ireland (1983).

²⁹ Véase Stoneman (1986).

$$\pi_{i1}(Z_{it}) - \pi_{i0}(Z_{it}) \geq [(1+r)p_t - p_{t+1}^e]/r \quad [6.b]$$

Esto no modifica nuestro planteamiento analítico. Considerando la expresión [6.b], podemos volver a definir una variable dicotómica como en [11] que indique cuándo una empresa adopta la nueva tecnología:

$$Y_i^* = X_i'(\beta_1 - \beta_0) - (\mu_{i0} - \mu_{i1}) - [(1+r)p_t - p_{t+1}^e]/r \quad [11.a]$$

Ahora una empresa adopta ($Y_i^* > 0$) cuando su precio de reserva supera la expectativa de ganancia esperada de una reducción en el precio de la nueva tecnología. Obsérvese que cuando se produce miopía en las expectativas, $p_{t+1}^e = p_t$, la expresión [6.b] se reduce a [6.a] y [11.a] a [11], de modo que volvemos a nuestro planteamiento anterior.

Si se supone que los agentes tienen expectativas perfectas, $p_{t+1}^e = p_{t+1}$, y además, como consecuencia del proceso de aprendizaje o ante la aparición de otra innovación $p_{t+1} < p_t$, es la expresión [6.b] la que determina la adopción de la innovación. En este la proporción de empresas de una industria que en un momento determinado han adoptado la nueva tecnología es:

$$n_t = 1 - F([(1+r)p_t - p_{t+1}]/r) \quad [4.b]$$

De este modo, el umbral que determina la utilización de la innovación no sólo depende del precio de la nueva tecnología, sino también de su evolución futura.

En cuanto a los modelos ordenados tampoco varía nuestra formulación. Ahora deberán tenerse en cuenta además de los precios de las distintas innovaciones, cuál sería la ganancia esperada de retrasar la innovación en cada uno de ellos. Haciendo uso de la hipótesis recogida en [12], para determinar qué innovación adquirirá cada empresa se pueden generalizar las condiciones [16.0] - [16.3] de acuerdo con [6.b] de modo que en los modelos ordenados:

$$\text{Prob}[Y_i \leq j] = \Gamma([(1+r)p_{j+1,t} - p_{j+1,t+1}]/r - X_i' \tau) \quad [17.a]$$

En cualquier caso, con esta formulación no avanzamos nada en el sentido de detectar qué tipo de expectativas tienen los agentes. La variable dicotómica definida en [11.a] es realmente lo único observable; una empresa adopta la nueva tecnología o no, pero no sabemos cuál es su precio de reserva para cada tipo de innovación, el precio de cada una de ellas o la ganancia que se derivaría de retrasar la decisión de adopción en un período. Sabemos que la adopción depende de alguna forma de todo ello, pero sólo podemos constatar que una empresa con determinadas características en un momento determinado adopta la innovación, independientemente de cuál sean sus expectativas o los valores que determinan el umbral de adopción.

8. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha presentado un marco teórico que puede servir de referencia para interpretar los resultados de los modelos de elección discreta, si estos son aplicados a cuestiones como la adopción de tecnología. La contrastación empírica, aunque realizada en un caso en el que la caracterización de las empresas es insuficiente parecer explicar correctamente la influencia de cada variable sobre la adopción de los hornos para la fabricación de azulejos.

Cuando en una industria coexisten distintas generaciones de capital, parece que la utilización del modelo probit ordenado es el adecuado para la contrastación empírica. El elemento que determina qué innovación adopta una empresa es su precio de reserva máximo de compra de las distintas generaciones de capital disponibles en un momento dado del tiempo. Los precios de estos bienes de capital (que son mayores para las generaciones más recientes) determinan los distintos umbrales a partir de los cuales se adopta una innovación u otra. Así una empresa utiliza una determinada tecnología porque el precio de reserva máximo, toma un valor comprendido en el correspondiente intervalo. Cuando la evolución de las variables económicas que influyen sobre la difusión de la tecnología cambian con el paso del tiempo, el valor de estos umbrales, es decir los precios de las innovaciones, se desplazarán (no todos a la vez ni en la misma

cuantía), procediéndose a adoptar un tipo de bienes de capital distinto.

BIBLIOGRAFIA

- AMEMIYA, T. (1981): "Qualitative Response Models: A Survey". Journal of Economic Literature, 19, 1483-1536.
- BALCER, Y. y S.A. LIPPMAN (1984): "Technological Expectations and Adoption of Improved Technology". Journal of Economic Theory, 34, 292-318.
- BENVIGNATI, A.M. (1982a): "Interfirm Adoption of Capital Goods Innovations". The Review of Economics and Statistics, 64, 330-335.
- BENVIGNATI, A.M. (1982b): "The Relationship between the Origin and Diffusion of Industrial Innovation". Economica, 49, 313-323.
- DAVID, P.A. (1969): "A Contribution to the Theory of Diffusion". Memorandum n.º 71, Stanford Center for Research in Economic Growth. Stanford University.
- DAVIES, S. (1979): "The Diffusion of Process Innovations". Cambridge University Press. Cambridge.

FEDER, G. y R. SLADE (1984): "The Acquisition of Information and the Adoption of New Technology". American Journal of Agricultural Economics, 66, 312-320.

GONZALEZ, M. (1982): "La industria azulejera valenciana". Información Comercial Española, Junio, 103-109.

GRILICHES, Z. (1957): "Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change". Econometrica, 25, 501-522.

IRELAND, N. y P. STONEMAN (1986): "Technological Diffusion, Expectation and Welfare". Oxford Economic Papers, 38, 283-304.

JENSEN, R. (1982): "Adoption and Diffusion of an Innovation of Uncertain Profitability". Journal of Economic Theory, 27, 182-193.

MADDALA, G.S. (1983): "Limited Dependent and Qualitative Variables in Econometrics". Econometric Society Monographs N.º 3. Cambridge University Press. Nueva York.

MANSFIELD, E. (1968): "Industrial Research and Technological Innovation". Norton. Nueva York.

McFADDEN, D. (1974): "Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior". en P. ZAREMBKA: "Frontiers in Econometrics", Academic Press. Nueva York.

METCALFE, J.S. (1986): "Technological Innovation and the Competitive Process", en P. Hall (ed.): "Technology Innovation and Economic Policy", Phillip Allan Publishers Ltd. Oxford.

MILLAN, J.A. y P. RUIZ (1987): "Modelos Logit de Adopción de Innovaciones en Invernaderos de Almería". Investigación Agraria: Economía, 2, (115-125).

NABSETH, L. y G.F. RAY (ed.) (1974): "The Diffusion of New Industrial Processes: An International Study". Cambridge University Press. Londres.

OSTER, S. (1982): "The Diffusion of Innovation among Steel Firms: the Basic Oxygen Furnace". The Bell Journal of Economics, 13, 45-56.

POLO, Y. (1986): "Modelos analíticos de la difusión de innovaciones". Cuadernos Aragoneses de Economía, 10, 35-45.

POLO, Y. (1988): "Difusión de Tecnología en la Empresa Española: Algunos Resultados". Documentos de Discusión, 8/88.
Departamento de Economía de la Empresa. Universidad de Zaragoza.

POLO, Y. y V. SALAS (1988): "Determining Factors in Innovations Adoptions: The Teleprocess Terminal in Spanish Comercial and Savings Banks". Documentos de Discusión, 6/88.
Departamento de Economía de la Empresa. Universidad de Zaragoza.

ROMEO, A.A. (1975): "Interindustry and Interfirm Differences in the Rate of Diffusion of an Innovation". The Review of Economics and Statistics, 57, 311-319.

ROMEO, A.A. (1977): "The Rate of Imitation of a Capital-Embodied Process Innovation". Economica, 44, 63-69.

ROSENBERG, N. (1976): "On Technological Expectations". Economic Journal, 86, 523-535.

SALTER, W.E.G. (1966): "Productivity and Technical Change", 2.^a ed. Cambridge University Press. Cambridge.

SOETE, L. y R. TURNER (1984): "Technology Diffusion and the Rate of Technical Change". Economic Journal, 94, 612-623.

STONEMAN, P. (1983): "The Economic Analysis of Technological Change". Oxford University Press. Oxford.

STONEMAN, P. (1986): "Technological Diffusion: The Viewpoint of Economic Theory". Ricerche Economiche, 40, 585-606.

STONEMAN, P. (1987): "The Economic Analysis of Technology Policy". Oxford University Press. Oxford.

STONEMAN, P. y N.J. IRELAND (1983): "The Role of Supply Factors in the Diffusion of New Process Technology". Economic Journal, (suplemento) 93, 66-77.

THIRTLE, C.G. y V.W. RUTTAN (1987): "The Role of Demand and Supply in the Generation and Diffusion of Technical Change". Fundamentals of Pure and Applied Economics. Harwood Academic Press. Londres.

YAPA, L.S. y R.C. MAYFIELD (1978): "Non-Adoption of Innovations: Evidence from Discriminant Analysis". Economic Geography, 54, 145-156.